

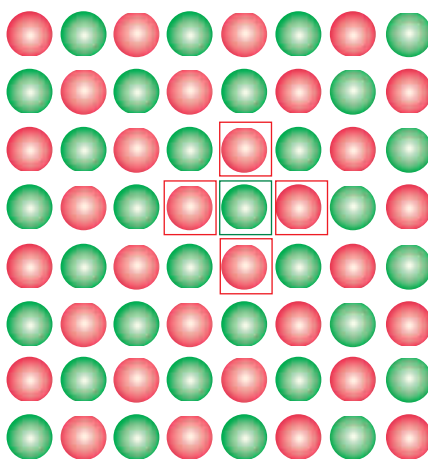
configuration de leur spin. La nature se passe de ce genre d'artifices. Pourquoi, alors, sont-ils indispensables dans les simulations numériques conçues pour la représenter ?

Une réponse à cette question est que la nature possède un meilleur ordinateur que les nôtres. L'artefact du damier clignotant résulte du rythme sur les changements d'état des spins imposé par le microprocesseur. Si nous disposions d'un processeur par spin, le problème de l'ordre des changements ne se poserait plus, puisque tous les spins basculeraient simultanément. Toutefois, je crains que la construction d'un ordinateur parallèle de taille gigantesque ne remplace le problème de l'ordre des inversions de spins par un autre : celui de la synchronisation. Je comprends mal comment tous les spins pourraient interroger tous leurs voisins au moment même, où ils sont eux-mêmes interrogés sur leur état ; cela me semble une énigme encore plus ardue que celle de l'ordre d'inversion des spins.

La méthode de Monte-Carlo

La méthode de Monte-Carlo élude ces difficultés grâce au hasard. À chaque itération, l'algorithme sélectionne un seul spin et examine quelles conséquences aurait son inversion. Si l'inversion réduit l'énergie totale du système, le programme l'effectue. Sinon, si l'énergie du système croît, le spin est soit inversé, soit laissé tel quel... au hasard ; pour prendre cette décision, l'ordinateur emploie un générateur de nombres aléatoires, de telle sorte que la répartition globale des spins basculés suit la statistique de Boltzmann. De cette façon, tout se passe comme si la probabilité d'inversion d'un spin particulier était celle que lui affecte la distribution de Boltzmann.

La plupart de ses utilisateurs considèrent la méthode de Monte Carlo comme un outil efficace pour estimer la fonction de partition. Toutefois, cet algorithme semble avoir en lui quelque chose de si physique, qu'il est tentant de le considérer comme une simulation de ce qui pourrait réellement se passer au sein d'un système d'Ising. Laplace aurait sans doute sourcillé en voyant le hasard jouer un si grand rôle dans cette simulation, mais nous sommes habitués à l'idée aujourd'hui. Personnellement, je trouve plus gênant de plaquer la sta-



6. DANS CETTE CONFIGURATION, chaque spin orienté vers le haut (dans le carré vert, par exemple) est entouré de quatre voisins (dans les carrés rouges) orientés vers le bas, qui le font basculer, et réciproquement. Le système est semblable à un damier clignotant, dont les lignes vertes et rouges alternent sans cesse. Plusieurs modèles numériques prédisent cette configuration, pourtant la plus improbable. Il s'agit là d'un artefact dû à la nature itérative des calculs à la machine.

tistique de Boltzmann sur le comportement collectif des spins. Un système physique ne décide rien et ne calcule aucune probabilité du type $e^{-E/T}$! Même dans le cadre d'une simulation, je continue à préférer la démarche empirique, dans laquelle on ne programme que les comportements individuels, sans imposer aucune loi physique au système.

C'est pourquoi, parmi toutes les simulations numériques du modèle d'Ising, celle de Michael Creutz, du laboratoire de Brookhaven, est la plus séduisante. Elle a en effet l'intérêt d'être strictement déterministe, c'est-à-dire d'exclure le hasard, sauf dans le choix des conditions initiales. Dans le modèle de M. Creutz, chaque spin se voit attribuer une énergie d'interaction définie par l'état des voisins les plus proches et une énergie ciné-

tique. Ce terme, qui représente l'énergie communiquée aux spins par les fluctuations thermiques, agit comme l'équivalent d'un réservoir d'énergie, absorbant les excès d'énergie et les restituant si nécessaire. Lors d'une itération, un spin ne s'inverse que si et seulement si sa réserve d'énergie cinétique peut couvrir le coût énergétique. En d'autres termes, il faut que l'énergie cinétique en réserve égale au moins l'énergie nécessaire à l'inversion du spin. Ce modèle a cependant lui aussi la faiblesse d'aboutir parfois à un état de type « damier clignotant ». M. Creutz impose lui aussi un séquençage. Une fois de plus, un artifice est nécessaire pour que la simulation fonctionne.

Est-ce si étonnant ? Après tout, exiger d'un programme informatique qu'il nous montre ce qui se passe « réellement » au sein d'un système qui n'existe pas, est plutôt excessif. Le modèle d'Ising n'est qu'une construction théorique inventée pour simplifier la réalité ; toutes les structures y sont supposées discrètes et symétriques, au sens mathématique du terme. Dans un monde aussi parfait, un comportement symétrique comme celui du « damier clignotant » est sans doute un véritable régime du système. S'il ne se produit pas dans les ferromagnets réels, c'est tout simplement parce qu'ils ne sont pas parfaits ! Ainsi, G. Vichniac a montré que lorsque les spins d'Ising peuvent se balancer, même légèrement, le syndrome du damier clignotant disparaît. Sans doute pourrait-on aussi le faire disparaître en brisant la symétrie temporelle ou spatiale, ou en d'autres termes en introduisant une forme quelconque « d'imperfection ». Une idée de la simulation du monde réel qui n'aurait certainement pas enchanté Laplace.

Brian HAYES est journaliste scientifique et ancien éditeur de *American Scientist*. Cet article est reproduit avec l'aimable autorisation de *American Scientist*.

Pierre Simon DE LAPLACE, *Essai philosophique sur les probabilités*, Gauthier-Villars, 1921.

Ernst ISING, *Beitrag zur Theorie des Ferromagnetismus*, in *Zeitschrift für Physik*, vol. 31, pp. 253-258, 1925.

Stephen BRUSH, *History of the Lenz-Ising Model*, in *Reviews of Modern Physics*, vol. 39, pp. 883-893, 1967.

Rodney BAXTER, *Exactly Solved Models in Statistical Mechanics*, Academic Press, London, New York, 1982.

Michael CREUTZ, *Deterministic Ising Dynamics*, in *Annals of Physics*, vol. 167, pp. 62-76, 1986.

Barry CIPRA, *An Introduction to the Ising Model*, in *American Mathematical Monthly*, vol. 94, pp. 937-959, 1987.

Martin KRIEGER, *Constitution of Matter : Mathematical Modeling of the Most Everyday of Physical Phenomena*, University Press, Chicago, 1996.



Un bouquet de Bruegel

GÉRARD-GUY AYMONIN

Vous reconstituerez difficilement le bouquet : les fleurs sont reproduites fidèlement et identifiables, mais elles fleurissent à différentes saisons.

Ce bouquet (voir la figure de la page ci-contre), daté de 1603 et exposé à la Grande Pinacothèque de Munich, est l'une des nombreuses compositions florales attribuées à Jean Bruegel (1568 - 1625). Issu d'une famille de peintres flamands, il a été qualifié «de velours» pour la délicatesse des tons et la matière fine et brillante de ses peintures. En 1607, Bruegel a peint une deuxième version, plus petite, de ce bouquet (voir la reproduction à côté du titre) ; elle est exposée à Vienne.

Les bouquets de Bruegel comptent parmi les plus complexes : ce sont de véritables tapisseries florales. Plus de 130 motifs sont représentés dans ce «Bouquet au baquet». Il est historiquement intéressant d'identifier les plantes qui illustrent les variétés florales de l'époque, mais la tâche est rendue difficile par l'absence de certains caractères de discrimination indispensables au botaniste, tels les organes souterrains.

À la différence de l'esthétique des bouquets d'aujourd'hui, la partie basse du bouquet de Bruegel présente un assortiment touffu de petites corolles, tandis que les fleurs les plus spectaculaires ornent le haut du bouquet.

Plus de 20 familles végétales sont représentées, avec une prédominance des espèces à bulbes, telles les liliacées, les amaryllidacées et les iridacées. Le motif supérieur (1), classique à l'époque, est une couronne impériale (*Fritillaria imperialis*), admirée par Shakespeare dans l'Épître au Prince d'Aremberg. Facilement reconnaissable par les touffes de bractées qui surmontent la fleur renversée, elle est aussi nommée «larmes de Marie» en raison des gouttelettes blanchâtres de nectar qui coulent parfois de l'intérieur de sa corolle.

Les rameaux de fraisier en fruits (2), dans la partie inférieure à droite du bouquet, sont également un symbole de Marie.

Au centre, entre la tulipe et la rose, toutes deux blanches, on remarque deux fritillaires du groupe des «pintadines», car leurs motifs en damier rappellent la robe des pintades : il s'agit sans doute de *Fritillaria meleagris*.

À droite de la couronne impériale, la fleur volumineuse est une «pivoine officinale double» (3) dont on connaissait à l'époque les vertus antispasmodiques, anti-inflammatoires et sédatives des racines. Elle est dite *flore pleno*, car sa corolle contient plusieurs rangs de pétales alors que les espèces sauvages n'en ont qu'un : elle

résulte d'une sélection par des horticulteurs. Cette pivoine rouge est européenne : au XVII^e siècle, les espèces blanches ou jaunes, d'origine asiatique, sont inconnues.

Entre la couronne impériale et la pivoine, deux fleurs rouges de lis (4) : l'une est ouverte, l'autre en boutons. L'absence de feuilles visibles empêche de déterminer s'il s'agit d'un lis de Byzance ou d'un lis turban, espèces cultivées à l'époque. De la même famille, le lis orangé (*Lilium bulbiferum*) est représenté plusieurs fois et le lis de la vierge (*Lilium candidum*), également visible sur des fresques assyriennes et crétoises, constitue le grand motif blanc à gauche (5). Certains des lis ont des fleurs dressées, à la différence d'un joli lis martagon rose-mauve (6) qui complète la collection, au centre à droite, sous le lis orangé. Les pétales de ce lis martagon à fleurs pendantes sont enroulés vers l'arrière.

La variété des espèces indique qu'il s'agit d'un bouquet «artificiel», car elles ne fleurissent pas simultanément en conditions naturelles et leurs origines géographiques sont différentes : ainsi, le lis martagon pousse dans les montagnes d'Europe, le lis orangé dans les Alpes, le lis de Byzance en Grèce et le lis de la vierge, des Balkans jusqu'en Israël. Par ailleurs, des fleurs de rocaille, telle la couronne impériale sauvage de la Turquie au Cachemire, jouxtent d'autres fleurs qui poussent dans les prés humides, telles les fritillaires pintadines.

La partie haute du bouquet montre aussi une ancolie (*Aquilegia vulgaris*) de la famille des renonculacées, sous sa forme simple et *flore pleno*. À gauche de l'ancolie, un élégant rameau d'une églantine (7) à corolle blanche, à folioles arrondies, est délicat à identifier, car on ne distingue ni le calice, ni les aiguillons. Est-ce *Rosa agrestis* Savi ou une rose des chiens, plus commune ? Les fleurs de cette dernière sont aussi grandes que celles de la fritillaire centrale, alors que les fleurs de *Rosa agrestis* Savi sont plus petites. Les fleurs ici sont également plus petites, mais on ne sait pas si elles sont sur le même plan que la fritillaire ou en retrait. Il en va de même pour la campanule, à gauche de la fritillaire, dont les proportions apparentes ne respectent peut-être pas la réalité à cause de la perspective.



8



Le bouquet contient aussi cinq espèces d'iridacées : un très petit crocus (8), différent de celui dont on extrait le safran, près du vase ; un glaïeul chamarré mêlé au lis de la vierge, et trois iris bleutés, dont deux *Iris germanica* à larges pétales et un, dit de Hollande (9), beaucoup plus fin (à droite

de la tige de la couronne

impériale), ainsi qu'un iris à petites fleurs panachées, peut-être une forme cultivée d'*Iris tuberosa*.

Comment Bruegel aurait-il pu oublier les tulipes, les fleurs à la mode ? L'histoire mouvementée de ces fleurs, dont le nom vient du persan *tulipan* qui signifie turban, commence à l'aube du XVII^e siècle, au moment où est peint le tableau. En 1554, Augier Ghislain de Busbecq, ambassadeur des Habsbourg à Constantinople, envoie quelques bulbes des fleurs favorites du sultan Soliman le Magnifique au directeur du jardin impérial de Vienne, Charles de L'Écluse. Celui-ci introduit en Hollande ces fleurs qu'il acclimate au pays. En peu de temps, les tulipes deviennent la coqueluche de l'aristocratie locale et, en 1630, mènent certains spéculateurs à jouer sur le cours des oignons de tulipe et à s'y ruiner. Au moins huit formes horticoles – aucune sauvage – trônent dans le vase. Les horticulteurs avaient déjà amélioré les espèces et obtenu de nouvelles variétés. L'une est bicolore (jaune et rouge) au centre du bouquet (10) : cette race est souvent nommée tulipe de Rembrandt, car elle apparaît régulièrement dans les toiles du maître hollandais. On sait aujourd'hui que cette propriété est due à un virus, celui de la mosaïque. Une autre, à gauche de la précédente, a des pétales un

10



peu dentés : elle préfigure les futures tulipes dites «perroquets» que l'on cultive aujourd'hui.

Une belle diversité caractérise aussi les jonquilles (Amaryllidacées) : des narcisses à bouquets, jaunes ou blancs ; des jeannettes blanches ou jaunes (11) et peut-être aussi une petite espèce dite trompette de méduse.

Quelques rameaux complètent le bouquet : au centre à gauche, une «boule de neige» (*Viburnum opulus*), en bas à droite, une branche de mûrier noir (*Morus nigra*) en fruit et un agrume à fleurs blanches du genre *Citrus*, peut-être un oranger.

Au pied du vase, à gauche, la seule plante dont on aperçoit un organe souterrain (12) est un cyclamen (Primulacées) : le tubercule aplati ainsi que les marbrures caractéristiques des feuilles indiquent un cyclamen printanier du groupe *Cyclamen repandum*, plutôt qu'un cyclamen d'Europe, à tubercules plus petits et sphériques, ou qu'un cyclamen à feuilles de lierre. Ces derniers, automnaux, contrasteraient avec le reste du bouquet, principalement printanier, à l'exception du mûrier en fruits.

Parmi les fleurs tombées sur la table, on identifie une pervenche, de la bourrache,

9



une rose en boutons et un petit brin de romarin dont un rameau pend du bouquet.

Si les grandes fleurs sont assez aisées à identifier, il en va autrement de l'entrelacs des fleurettes. Ce bouquet est plus riche que d'autres comparables, tels les bouquets de Bruegel «en vase d'argile» et «en vase de verre».

Dans cette masse foisonnante, le bleu est celui, de droite à gauche, d'une bourrache officinale, d'une scille, d'une nigelle de Damas (13) *flore pleno* d'allure ébouriffée, de fines tiges pendantes de myosotis, d'une pervenche vue de face et d'une autre vue de côté.

Le blanc est celui des fleurs du fraisier, des cyclamens, d'un œillet double au centre. Ce dernier est surmonté d'une fleurette blanche, à corolle penchée, qui illustre les deux types de tépales (les tépales sont des sépales ressemblant à des pétales) : c'est l'une des fleurs les plus précoces du bouquet, le perce-neige (*Galanthus nivalis*) dont la famille botanique, les Amaryllidacées, est aussi représentée par plusieurs

nivéoles (14). Les clochettes les plus visibles de ces fleurs sont entre la tulipe rouge et la tulipe bicolore, au bas de la tige de la grande fritillaire.

14



Les fleurs rouges ou roses sont aussi diverses : à droite, une fleur parfois affiliée aux coquelicots, cependant l'absence de tâches noires à la base des pétales atteste plutôt une anémone double.

De la même famille, bien

que l'on n'en distingue pas le fin feuillage, des gouttes-de-sang (*Adonis* annuels) déploient leurs petites corolles rouge sombre, en bas à gauche (15). En trois endroits, et notamment à gauche de la tige de la fritillaire centrale, on remarque les nombreuses corolles à cinq pétales vermillon des croix de Jérusalem (*Lychnis chalcidonica*) qui auraient inspiré la croix de l'ordre des Chevaliers de Malte.

En jaune et en orange, on reconnaît les capitules de composées – des soucis doubles ou des œillets d'Inde –, les petites corolles vives des boutons d'or, une fleur pompon d'une espèce cultivée de renoncule d'Asie. Sur le bord du vase, de nombreuses petites pensées étalent leurs trois pétales basaux jaunes. Enfin, au centre, une sphère jaune est entourée de bractées vertes : il s'agit de l'hellébore d'hiver (16) qui fleurit, dès janvier, avec les perce-neige.

15



Nous l'avons remarqué, ce magnifique bouquet ne peut être le fait d'une cueillette de fleurs dans la nature. Plus encore, il est difficile d'imaginer un mon-

tagé à un instant précis, même à l'aide des premières orangeries qui protégeaient les plantes durant l'hiver : la floraison, entre autres, des perce-neige, des fritillaires, des pivoines et des rosiers, ainsi que la présence de fraises mûres montrent qu'il s'agit plutôt d'une œuvre de longue haleine. Bruegel avait une bonne mémoire, ou il a inséré les fleurs de sa composition au gré des saisons.

16



Gérard-Guy AYMONIN est botaniste au Laboratoire de phanérogamie du Muséum national d'histoire naturelle.